

Tartu Ülikool  
Loodus- ja täppisteaduskond  
Ökoloogia ja Maateaduste instituut  
Geograafia osakond

Bakalaureusetöö loodusgeograafias (12 EAP)

**Kuumalained Eestis aastatel 1951-2017**

**Triin-Merilyn Õispuu**

Juhendaja: prof. Jaak Jaagus

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2018

## **Infoleht**

### **Kuumalained Eestis aastatel 1951-2017**

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on uurida, mis perioodidel on Eestis kuumalaineid esinenud, kuidas need on territoriaalselt jaotunud ning kas on märgata kuumalainete esinemise sagenemist aastatel 1951-2017. Uurimise alla kuulusid 14 ilmajaama, millest 6 asusid rannikul. Kasutatud on keskmiseid õhutemperatuure üldise soojenemise välja uurimiseks ning maksimaalseid õhutemperatuure kuumalainete määramiseks. Kuumalainete uurimine on väga aktuaalne Euroopas, kuna märgatud on kuumalainete esinemise sagenemist. Eestis ei ole varem kuumalaineid uuritud.

**Märksõnad:** kuumalained, kliima soojenemine

**CERC kood:** P510 Füüsiline geograafia, geomorfoloogia, mullateadus, kartograafia, klimatoloogia

### **Heat waves in Estonia in 1951-2017**

The aim of this study is to research heat waves in Estonia from 1951 to 2017. The focus of this research is on the periods when heat waves have occurred, how their occurrence differs territorially and whether heat waves frequency in Estonia has changed during this period. Maximum and average temperatures were analysed in 14 stations, 6 of them were coastal stations. The average temperatures were used to prove that global warming has affected Estonian climate. The maximum temperatures were used to define heat waves. A significant increase in occurrence of heat waves has been observed in Europe which makes it a frequently examined topic. Heat waves have not been researched in Estonia before.

**Key words:** heat waves, global warming

**CERC code:** P510 Physical geography, geomorphology, pedology, cartography, climatology

# SISUKORD

Infoleht .....	2
Sissejuhatus .....	4
1. Teoreetiline ülevaade .....	6
1.1. Kliimamuutused .....	6
1.2. Kuumalained ja nende esinemine Euroopas .....	7
1.3. Kuumalained Eestis .....	10
2. Andmed ja metoodika .....	12
3. Tulemused .....	14
3.1. Keskmise õhutemperatuuri muutused maist septembrini .....	14
3.2. Kuumalained ning kuumapäevad Eestis perioodil 1951-2017 .....	16
3.3. Kuumalainete maksimumid Eestis .....	19
3.4. Aastatevaheline varieeruvus .....	22
3.5. Trendianalüüs .....	23
3.5.1. Kuumalainete pikaajaline muutus .....	23
3.5.2. Kuumapäevade ja maksimaalsete õhutemperatuuride muutus .....	27
4. Arutelu.....	30
Kokkuvõte .....	33
Summary .....	34
Tänuavaldused.....	36
Kasutatud kirjandus .....	37

## Sissejuhatus

Kliimasüsteem on olnud kogu aeg väga muutlik ning kliimatingimused on muutunud nii lähemas kui ka kaugemas minevikus. Maapinnalähedane õhutemperatuur on järjepidevalt tõusnud alates 19. sajandi lõpust ning 2012. aastaks on Maakera keskmine õhutemperatuur suurenenud 0,85 °C võrra. Lisaks kliima soojenemisele toimuvad muutused ka meretasemes, lume- ja jääkatte seisundis. Suurenenud on kasvuhoonegaaside, eelkõige süsihappegaasi kontsentratsioon õhus. Praeguseks ollakse üsna kindlad, et kliima soojenemine on suures osas põhjustatud inimtegevuse poolt (IPCC, 2013).

Viimastel aastatel on olnud märgata kuumalainete arvukuse, kestuse ning tugevuse tõusu, mille tõttu on tekkinud aina suurem vajadus nende täpsemaks uurimiseks (Meehl, Tebaldi, 2004). Uurides ning analüüsides kuumalaineid on võimalik ennustada tuleviku kliimat ja olla valmis sääraseks ekstreemseteks ilmastikuoludeks (Frich et al., 2002). Euroopas on kuumalainete uurimisega tegeletud juba aastaid. Kuumalainete uurimise olulisus seisneb nende mõjus inimeste elutegevusele, tervisele ning ökosüsteemile. Mida pikemat aega kuumalaine kestab, seda tõsisemad on selle mõjud (Rusticucci, Vargas, 2002).

Euroopas peetakse viimaste aastate tõsisemateks kuumalaineteks 2003. ja 2010. aasta kuumalaineid. 2003. aasta kuumalaine tabas Kesk-Euroopat, peamiselt Tšehhit, Šveitsi ja Prantsusmaad. 2010. aasta kuumalaine keskmeks jäi Venemaa ning Ida-Euroopa. Vaieldakse selle üle, kas taoliste ekstreemsete kuumalainete esinemine on seotud kliima üldise soojenemisega või mitte. Suure tõenäosusega leiavad taolised ekstreemsed kuumalained veelgi sagedamini aset 21. sajandi teisel poolel (Schubert et al., 2014).

Eestis ei ole varasemalt kuumalaineid uuritud. Antud uurimuses on kasutatud 14 Eesti ilmajaama maksimumtemperatuuride andmeid aastatest 1951-2017. Antud töö eesmärgiks on välja uurida, kuidas on Eestis kuumalainete esinemissagedus muutunud viimase 67 aasta jooksul ning milliseid piirkondi mõjutavad kuumalained kõige enam. Eestis puudub täpne definitsioon kuumalainete jaoks. Antud uurimuses on kuumalaine periood, mil päeva maksimumtemperatuur on 25 °C või enam kolme või rohkema päeva jooksul.

Antud bakalaureusetöös on esitatud kolm uurimisküsimust:

1. Millisel ajal on Eestis kõige rohkem kuumalaineid esinenud?
2. Millistes piirkondades on kuumalaineid kõige enam esinenud?
3. Kas on märgata kuumalainete ning kõrgemate temperatuuride esinemise sagenemist?

Esitan hüpoteesi, millega eeldan, et nagu mujal Euroopas, on ka Eestis kuumalainete esinemissagedus ja tugevus viimaste aastate jooksul tõusnud.

Töös kasutatud andmed pärinevad Riigi Ilmateenistuse andmebaasist. Kasutatud on nii ööpäeva maksimaalsete temperatuuride andmeid kui ka kõigi kuude keskmisi andmeid. Andmetöötlus on läbi viidud programmiga MS Excel ning kaartide tegemisel on kasutatud programmi Surfer.

Töö on jaotatud neljaks osaks. Esimene peatükk annab ülevaate varasematest uuringutest Euroopas ja Eestis. Teises peatükis on ülevaatlikult kirjeldatud andmete ja metoodika osa. Kolmas osa sisaldab tulemusi ning neljas arutelu.

# 1. Teoreetiline ülevaade

## 1.1. Kliimamuutused

Kliimamuutused on tänapäeval üks suurimatest globaalsetest probleemidest. Kliimamuutus tähendab pikema-ajalist kõrvalekallet tavalistest ilmastikuoludest, mis on seotud muutustega ookeanites, maapinnal ning liustikel (Australian..., 2018). Üheks põhiliseks tänapäeva kliimamuutuseks on Maakera keskmise temperatuuri tõusmine. Keskmine maapinnalähedane temperatuur on ajavahemikul 1880 kuni 2012 suurenenud 0,85 °C võrra (Stocker et al., 2013). 2017. aastaks suurenes Maakera keskmine õhutemperatuur juba üle 1 °C, mis teeb sellest kolmanda järjestikuse kõige soojema aasta peale tööstusrevolutsiooni algust (WMO, 2018).

Lisaks üldisele soojenemisele kuuluvad kliimamuutuste hulka ka muutused ekstreemumites, millest olulisemateks on kuumalained, põuad, tugevad vihmajärged, äärmiselt madalad ja kõrged temperatuurid (Huth et al., 2000). Kliima ekstreemumid jaotatakse üldiselt kahte suurde gruppi: 1) igal aastal esinevad nähtused, nagu väga kuumad ja väga külmad ilmad ning tugevamad vihmajärged; 2) komplekssemad sündmused, mis ei pruugi igal aastal esineda, nagu näiteks orkaanid, üleujutused ja karmid põuaperioodid (Easterling et al., 2000). IPCC 2007. aasta raportis on välja toodud ekstreemsed ilmastikunähtused, mille sagedus on muutunud viimase 50 aasta jooksul -

- külmade päevade, ööde ja külmumiste arv on vähenenud, kuumade päevade ja ööde arv on saenenud;
- kuumalainete arvukus on saenenud;
- suuremas osas piirkondades on tugevate sadude arv suurenenud;
- maailmamere tase on tõusnud paljudes piirkondades ning ülemaailmselt alates 1975. aastast (IPCC, 2007).

Alates 1950. aastatest on täheldatud ekstreemset atmosfääri ja ookeani soojenemist, lume- ja jääkatte kadumist ning meretaseme tõusu. Kliimasüsteemi muutustes on oma osa ka inimtegevusel, mille tõttu on kasvuhoonegaaside emissioon praegu ajaloo suurim (IPCC, 2014). Kliima soojenemise pidurdamiseks on vastu võetud Pariisi kokkulepe, mille eesmärkideks on heitkoguste ning kliimamuutuste vähendamine. Leppe kohaselt ei tohiks tööstusrevolutsioonieelse ajaga võrreldes globaalne keskmine temperatuur tõusta üle 2 °C ning peab piirama temperatuuri tõusu 1,5 °C-ni (Paris Agreement, 2015). Keskmise temperatuuri

tõusmisel muutub kõrgete temperatuuride ja kuumalainete esinemine sagedasemaks ning külmade temperatuuride esinemine harvemaks (IPCC, 2014).

Kliimamuutused on oluliseks uurimisvaldkonnaks, kuna nende põhjustatud tagajärjed ökosüsteemis, inimeste elutegevuses ning tervises on pöördumatud (McMichael, Woodruff, 2005). Kliima soojenemisest tulenevad kuumalained mõjutavad inimeste tervist, praeguseks elab ligi 30% inimestest piirkondades, kus esineb eluohtlikke kuumalaineid vähemalt 20 päeva aastas (WMO, 2018). Kõige enam ohustavad kuumad ilmad nõrgemaid ning vanemaid inimesi, kuna nemad on muutuste suhtes kõige tundlikumad (Merisalu, 2012).

Erinevalt paljudest muudest piirkondadest nii mujal maailmas kui Euroopas ei ole praeguseks kliimamuutused Eestis toonud endaga kaasa suuremaid probleeme, kuid sellest olenemata on oodata mõningaid muutusi kliimas ka meil, millega tuleks arvestada (Keskkonnaministeerium, 2013). Kliima soojenemine on toimunud ka Eestis, 20. sajandi teisel poolel on suurenenud aasta keskmine temperatuur 1-1,7 °C võrra olenevalt ilmajaamast. Kõige suurem muutus on esinenud märtsis, kus 50 aasta jooksul on keskmine temperatuur tõusnud 3-5 °C. (Jaagus, 2006) Eestis on temperatuur tõusnud kiiremini kui ülejäänud maailmas keskmiselt. Temperatuuri tõusuga kaasnevad ka jää- ja lumikatte vähenemine, kuumalainete sagenemine, taimekasvu muutused, võõrliikide levik, uute parasiitide ning kahjurite levik, liigsuremus. Lisaks temperatuurimuutustele on oodata sademete hulga suurenemist, merepinna tõusu ning tormide hulga suurenemist, mis toovad endaga kaasa hulga uusi probleeme (Keskkonnaministeerium, 2017).

## **1.2. Kuumalained ja nende esinemine Euroopas**

Kuumalainete jaoks puudub üks kindel definitsioon (Meehl, Tebaldi, 2004), kuid seda iseloomustab ekstreemselt kõrge õhutemperatuur ja selle kestus (Hajat, 2010). Erinevates piirkondades on kuumalainete jaoks oma määratlus, mis vastab selle koha kliimaatilistele tingimustele. IPCC määratluse järgi on kuumalaine periood, mil temperatuur on ebanormaalselt ja ebamugavalt kõrge (IPCC, 2014). Maailma Meteoroloogia Organisatsiooni (WMO) järgi on kuumalaine ajavahemik, mil õhutemperatuur on märgatavalt tõusnud laiemal territooriumil ning kestab mõnest päevast nädalani (WMO, 2018).

Alates umbes 1950. aastast on märgatud kliima ekstreemumite muutusi. Seejuures on täheldatud kuumalainete sagenemist suures osas Euroopas, Aasias ja Austraalias (Stocker et al, 2013). Euroopas ei ole kuumalainete arvukuse ja intensiivsuse sagenemine igal pool sama. Täheldatud on kuumalainete arvukuse tõusu Kesk- ja Ida-Euroopas ning mõningast vähenemist Norras, Kagu-Euroopas ning Türgis (Franzke, 2015). Kuumalaineid erinevates piirkondades ei ole võimalik võrrelda vaid maksimaalse õhutemperatuuri kaudu, kuna ühes piirkonnas ekstreemselt kõrge õhutemperatuur võib teises piirkonnas olla täiesti normaalne (Lass et al., 2011). Kasutusele on võetud erinevad indeksid, mille abil on võimalik võrrelda kuumalainete tugevust erinevates piirkondades (Alexander et al., 2006). Indeksite väljatöötamise ning arendamisega on tegelenud ETTCDI (*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*) grupp (Peterson, Manton, 2008). Kokku on kliima ekstreemumite võrdlemiseks ETTCDI grupi poolt soovitatud kasutada 27 indeksit, millest 16 on seotud temperatuuriga ning 11 sademetega (Peterson, 2005). Ekstreemumite kliimaindekseid on võimalik jaotada viide gruppi:

- 1) kvantiilipõhised indeksid, milleks on näiteks soojade päevade esinemine (TX90p) ja soojade ööde esinemine (TN90p ehk 90-protsendilised kvantiilid);
- 2) absoluutsed indeksid. Põhinevad tervel aastal või aastaajal esinenud maksimum- või miinimumtemperatuuridel, näiteks aasta kõige kõrgem õhutemperatuur (TXx);
- 3) lävendipõhised indeksid. Päevade arv, mil temperatuur ületab mingi kindla lävendi, näiteks kuumapäevad (SU);
- 4) kestvusel põhinevad indeksid. Näiteks kasvuperioodi pikkus (GSL);
- 5) muud indeksid (Alexander, 2006).

Üldiselt kasutatakse kuumalaine määramiseks ööpäevast maksimumtemperatuuri, kuid lisaks arvestatakse ka tajutavat temperatuuri (Kysely, 2004). Kuigi kuumalaine on meteoroloogiline nähtus, ei saa arvestamata jätta selle mõju inimestele. Kasutusele on võetud kuumaindeksi mõiste, mis arvestab lisaks temperatuurile ka õhuniiskust, kuna inimeste ebamugavustunne kuuma ilmaga oleneb ka sellest (Robinson, 2001). Olemas on ka keerulisemaid kuumaindekseid, mis lisaks temperatuurile ning õhuniiskusele arvestavad tuule kiiruse ja päikesekiirgusega (Steadman, 1984). Kuumaindeksit ehk tajutavat temperatuuri on võimalik kindlaks määrata spetsialistide poolt koostatud valemite või graafikute järgi. Näiteks 11.08.1992 Eestis esinenud kuumarekordi (35,6 °C) ajal oli tajutavaks õhutemperatuuriks 40 °C (Tammets, 2012).



Kesk-Euroopa üheks tõsisemaks kuumalaineks perioodil 1950-2012 oli 1994. aastal aset leidnud kuumalaine, mis kestis kokku 16 päeva ning tõi endaga kaasa surmajuhtumite arvu kasvu Tšehhis, Poolas ning teistes Kesk-Euroopa riikides (Lhotka, 2018). 1994. aasta suvel esines järjest mitmeid kuumalaineid Tšehhis, mis katsid väga suure ala. 2003. aasta kuumalaine ületas 1994. aasta rekordeid vaid Edela-Tšehhis (Kysely, 2010).

Kõige rohkem kõneainet pakkunud kuumalaineks Euroopas on 2003. aasta suvel esinenud erakordne kuumalaine, mille tõttu hukkus Euroopas kokku ligi 70 000 inimest (Robine et al., 2008). 2003. aasta suvel esinenud ekstreemset kuumalainet peetakse üheks tõsisemaks Euroopas, mil maist augusti lõpuni oli erakordselt kuum ja kuiv ilm (Schär et al., 2004). 2003. aasta kuum suvi purustas rekordeid ning seda peeti kõige kuumemaks suveks alates vähemalt aastast 1500 (Luterbacher et al., 2004). Kõige enam said 2003. aasta kuumalaine käes kannatada Šveits ja Prantsusmaa. Mitmes Šveitsi ilmajaamas ületas suvekuude keskmine õhutemperatuur 5,1 °C võrra pikaajalist (1864-2000) keskmist temperatuuri (Black et al., 2004). Mitmetes uuringutes on mudelite abil jõutud järeldusele, et sarnased kuumalained esinevad ka edaspidi 21. sajandil (Beniston, 2004).

2003. aasta kuumalainega võrreldav on veel 1972. aastal Soomet tabanud kuumalaine, mil erakordselt kuumad ilmad kestsid 18 päeva. Aastane keskmine temperatuur erines pikaajalisest keskmisest 8 °C võrra. Antud kuumalainet pole varasemalt määratletud kui ühte tõsisemat Euroopas, kuid 1972. aasta kuumalaine on kestuse, äärmuslikkuse ning ruumilise katvuse poolest sarnane 2003. aastal esinenud kuumalainega (Russo, 2015).

Peale 2003. aasta äärmuslikult kuuma suve tabas Kesk-Euroopat 2006. aastal järgmine tõsine kuumalaine. Prahas registreeriti kuumarekord, mille sarnast ei olnud esinenud alates 1775. aastast, mil võeti kasutusele õhutemperatuuri mõõtmiseks instrumentaalvaatlused (EC, 2007). Juulis aset leidnud kuumalaine kestis Prahas kokku 33 päeva, mis tegi sellest kõige pikema kuumalaine Prahas alates 1775. aastast (Kysely, 2010).

2010. aastal tabas Ida-Euroopat äärmuslik kuumalaine, mis tõi endaga kaasa viimase 500 aasta kõige soojema suve antud piirkonnas. Kuumalaine ületas amplituudi ning ruumilise ulatuse poolest varasema rekordkuumuse, 2003. aasta kuumalaine (Barriopedro et al., 2010). Kuumalaine ulatus kogu Euroopasse, kuid kõige intensiivsemalt avaldus Lääne-Venemaal (Dole et al., 2011). 2003. ja 2010. aasta suvesid loetakse Euroopa kõige kuumemateks ning

nende aastate kuumalaineid iseloomustatakse kui „mega-kuumalained“ (Barriopedro et al., 2010).

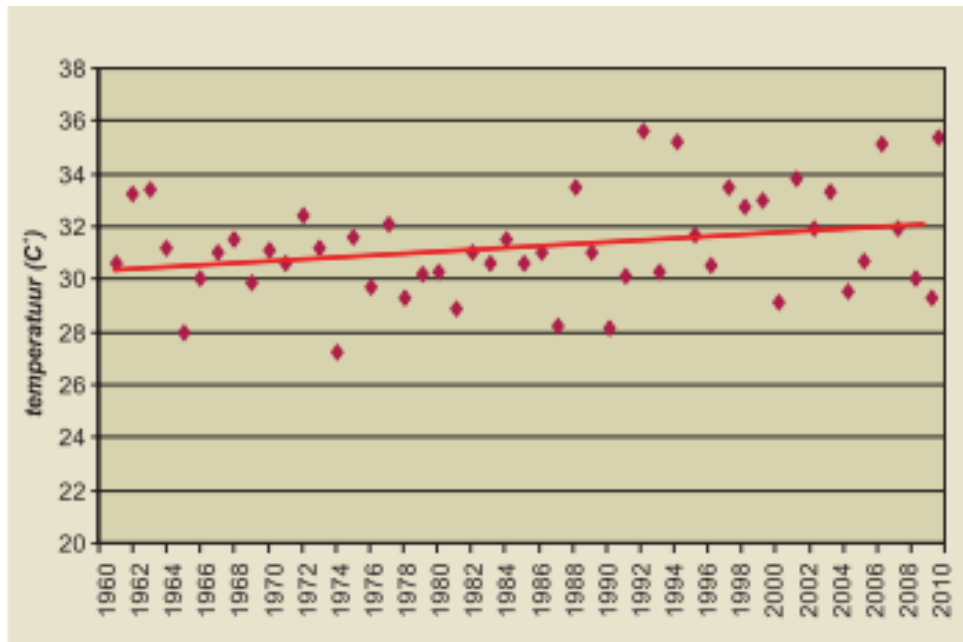
Praeguse aja viimane tõsisem kuumalaine Euroopas leidis aset 2015. aastal, mil kuumalaine kestis mõnedes kohtades 30 päeva. Kõige kauem kestis 2015. aasta kuumalaine Itaalias ja Šveitsis (Russo, 2015).

### **1.3. Kuumalained Eestis**

Eestis on püsiv soe õhk enamasti seotud antitsüklonite levikuga. Kõrged temperatuurid (25-30 °C) tekivad juhul, kui kõrgrõhualad on tekkinud mandrilise parasvöötme kuivas õhumassis, mille tagajärjel on ilm vähese pilvisusega ning kuiv. Harvemini ulatuvad temperatuurid üle 30 °C ning sel juhul on soojenemine seotud troopilise õhu jõudmisega Eestisse. Kõrgemaid õhutemperatuure on esinenud ka tsüklonitega, eelkõige lõunatsükloniga, mille tõttu jõudis ka näiteks 11. augustil 1992. aastal Eestisse rekordkuumus (Tammets, 2012).

Eestis ei ole üldiselt defineeritud kuumalained, kuid Riikliku Ilmateenistuse poolt on määratletud ohtlikud ja eriti ohtlikud kuumalained. Ohtlikuks loetakse kuumalainet, mille korral on ööpäeva maksimumtemperatuur 30 °C ja üle selle kahe ööpäeva vältel. Eriti ohtlik on kuumalaine, mille korral ööpäeva maksimumtemperatuur on 30 °C ja üle selle kolme ja enama ööpäeva vältel (Riigi ilmateenistus, 2018). Inimese tervisele peetakse eriti ohtlikuks, kui temperatuur on 30 °C ja üle selle enam kui viis päeva järjest, mida on ilmnunud perioodil 1961-2014 vaid kolmel aastal (2003, 2006 ja 2010) (Saava, 2015). Juhul kui äärmiselt kõrge temperatuur püsib vaid ühe või kaks päeva, loetakse seda kuumapäevaks (Tarand, 2013).

Märkimisväärsed soojalained on viimase poole sajandi jooksul Eestis esinenud aastatel 1992, 1994, 2003, 2006 ja 2010. Absoluutseks soojarekordiks on Eestis 1992. aasta 11. augustil Võrus mõõdetud 35,6 °C, mil taoline kuumus kestis vaid ühe päeva ning lõppes äikesega (Tammets, 2012). Maksimumtemperatuurid on Eesti Meteoroloogiajaamade mõõtmistulemuste andmetel kasvutrendis (joonis 1), mis võib olla seoses üldise kliima soojenemisega. Perioodil 1961-2010 on maksimumtemperatuurid tõusnud umbes poolteist kraadi (Tammets, 2012).

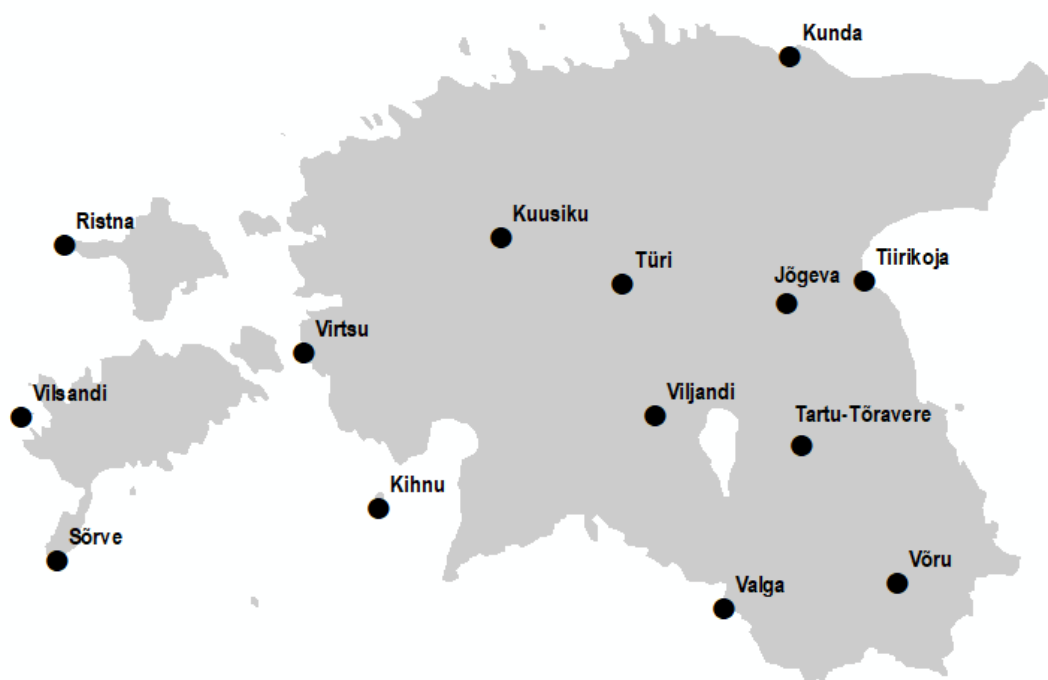


**Joonis 1.** Aasta maksimaalsed mõõdetud õhutemperatuurid Eestis aastatel 1961-2010 (Tammets, 2012).

Kuumalainete kõige otsesem mõju avaldub inimeste suremuses, kuna mõju on sel juhul otsesem ja kiirem kui üldiselt kuuma suve puhul (Armstrong, 2006). Eestis on uuritud 2010. aasta kuumalainete mõju suremusele, mil antud aastat on võrreldud 2007 kuni 2009 aasta suvedega. Uuring, mis kattis 57% Eestist, näitas, et suremuskordaja oli 2010. aasta suvekuudel 11% kõrgem eeldatust. Esimese kuumalaine ajal, mis kestis viis päeva, tõusis suremuskordaja 30,9% ning teise, nelja päevase ajal 30,6%. Kogu 2010. aasta kuuma suve jooksul esines uuringupiirkonnas 191 liigsurmajuhumit, millest kuumalainete perioodile langes 75 (Rekker, 2013). Lisaks inimestele mõjutavad kuumalained ka loomi ning taimi, kuna kuumad ilmad soodustavad paljude parasiitide ning kahjurite levikut (Euroopa Komisjon, 2009).

## 2. Andmed ja metoodika

Antud töös kasutatud temperatuuriandmed on saadud prof. Jaak Jaaguse vahendusel Keskkonnaagentuuri Riigi Ilmateenistusest. Kasutatud on 14. Eesti ilmajaama vaatlusandmeid aastatest 1951-2017. Andmed on saadud maksimaalsete päevaste temperatuuride ning kuude keskmiste temperatuuride failidena. Andmete töötlusel ning analüüsil on kasutatud programmi MS Excel. Vaatluse alla on võetud Jõgeva, Kihnu, Kunda, Kuusiku, Ristna, Sõrve, Tartu-Tõravere, Tiirikoja, Türi, Valga, Viljandi, Vilsandi, Virtsu ja Võru ilmajaamad (joonis 2).



**Joonis 2.** Töös kasutatud meteoroloogiajaamade asukohad.

Kuumalainete määramiseks on kasutatud ööpäevaseid maksimumtemperatuure. Andmete analüüsil on kasutatud mõisteid „kuumapäev“ ja „kuumalaine“. Kõik päevad, mil ööpäevane maksimumtemperatuur on 25 °C või enam on kuumapäevad. Kolm või enam järjestikust kuumapäeva moodustavad kuumalaine. Eestis puudub kindel määratlus kuumalainete jaoks ning antud töös kasutatud definitsiooni järgi ei ole varem uuritud kuumalaineid Eestis.

Kuumalainete aastase sageduse määramiseks on leitud iga aasta kohta kuumalainete arv. Kuumalainete kestus on arvestatud päevades ning antud töös on vaadeldud aastast keskmist ning maksimaalset kuumalaine kestust. Lisaks kuumalainetele on uuritud ka kuumapäevade

arvu aastas ja selle muutust. Vaadeldud on ka absoluutseid maksimaalseid temperatuure ning kuumalainete pikimat kestust. Ekstreemumite ning keskmiste võrdluseks on töösse hõlmatud ka uuritava perioodi (mai-september) keskmised õhutemperatuurid ning nende muutus.

67 aasta pikkuse perioodi muutust on analüüsitud kasutades muutu, mis on saadud korrutades tõusukordaja aastate arvuga. Muutus on statistiliselt oluline, kui  $p$ -väärtus on väiksem kui 0,05 ( $p < 0,05$ ).

Töös kasutatud klimatoloogiliste andmetega kaardid on loodud programmiga Surfer. Kaartide interpoleerimiseks on kasutatud krigingu meetodit.

### 3. Tulemused

#### 3.1. Keskmise õhutemperatuuri muutused maist septembrini

Käesolevas töös uuritud kuumalained esinevad perioodil mai-september. Lisaks kliimaekstreemumitele on uuritud ka keskmisi õhutemperatuure ja nende muutusi antud perioodil. Tulemused on välja toodud eraldi kuude lõikes ning kahe perioodina, millest üks hõlmab suvekuusid ning teine tervet uuritavat perioodi.

Maikuu on antud perioodil keskmiste õhutemperatuuride poolest kõige külmem kuu (tabel 1). Tunduvalt madalamad on temperatuurid ranniku ilmajaamades, kus soojenemine algab hiljem. Kõige soojemad on mais Valga (11,2 °C) ja Võru (11,4 °C) keskmised õhutemperatuurid. Ka juunis on märgatavalt soojem Lõuna-Eestis, kus keskmine õhutemperatuur on üle 15 °C. Kõige madalam on juunis õhutemperatuur Ristna ilmajaamas (13,2 °C). Juuli on kõige soojem kuu ning erinevused ranniku ja sisemaa ilmajaamade vahel kaovad. Kõige soojem on keskmine õhutemperatuur Kihnu ja Võru ilmajaamades – 17,5 °C.

**Tabel 1.** Keskmised õhutemperatuurid (°C) perioodil 1951-2017. Eraldi kuudena mai, juuni, juuli, august, september. Suvekuud (juuni, juuli, august) koos ühe perioodina ning terve periood maist septembrini koos.

Ilmajaam	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Juuni-august	Mai-september
Jõgeva	10,6	14,8	16,8	15,4	10,5	15,6	13,6
Kihnu	9,7	14,5	17,5	17,2	13,1	16,4	14,4
Kunda	9,2	14,0	16,7	15,7	11,4	15,5	13,4
Kuusiku	10,2	14,4	16,5	15,3	10,6	15,4	13,4
Ristna	8,3	13,2	16,7	16,5	12,7	15,5	13,5
Sõrve	8,7	13,5	16,6	16,6	13,0	15,6	13,7
Tartu	10,9	15,0	17,1	15,8	10,9	16,0	14,0
Tiirikoja	9,8	14,6	16,9	15,5	10,8	15,7	13,5
Türi	10,6	14,8	16,9	15,5	10,7	15,7	13,7
Valga	11,2	15,3	17,3	15,9	11,0	16,2	14,1
Viljandi	10,9	15,1	17,1	15,8	10,9	16,0	14,0
Vilsandi	8,9	13,5	16,9	16,9	13,1	15,7	13,8
Virtsu	10,0	14,7	17,4	16,7	12,5	16,3	14,2
Võru	11,4	15,5	17,5	16,2	11,2	16,4	14,4

Augustis on keskmine õhutemperatuur veidi madalam kui juulis. Madalaim on temperatuur Kuusikul (15,3 °C) ning kõrgeim Kihnus (17,2 °C). Üldiselt on soojemad temperatuurid ranniku ilmajaamades, vaid Kundas jääb keskmine temperatuur alla 16 °C. Septembris on märgatavalt soojemad temperatuurid ranniku ilmajaamades, kus meri püsib kauem soojana. Kõige soojem on Kihnus ja Vilsandil, kus keskmine õhutemperatuur on üle 13 °C. Kõige madalam augusti keskmine temperatuur on Kuusikul (10,6 °C)

Suvekuudel (juuni, juuli ja august) on kõige soojemateks piirkondadeks keskmise õhutemperatuuri järgi Kihnu ja Võru (16,4 °C). Kõige madalam on temperatuur Kuusikul (15,4 °C). Ranniku ilmajaamades on Kihnuga sarnase temperatuuriga veel Virtsu (16,3 °C). Ülejäänud rannikuäärsete piirkondade keskmised õhutemperatuurid jäävad 15 °C kanti. Kogu uuritava perioodi (mai-september) keskmiste õhutemperatuuride järgi on kõige soojemateks piirkondadeks samuti Kihnu ja Võru, kus viie kuu keskmine temperatuur on 14,4 °C. Üldiselt on soojemaks piirkonnaks Lõuna-Eesti (Valga, Viljandi, Tartu ja Võru), kus keskmine õhutemperatuur on üle 14 °C. Kõige madalam on keskmine temperatuur Kunda ja Kuusiku ilmajaamades (13,4 °C).

Kõigis ilmajaamades on antud perioodil toimunud soojenemine (tabel 2). Mai keskmine õhutemperatuur on tõusnud kõigis ilmajaamades peale Kuusiku (1,9 °C) üle 2 kraadi. Kõige rohkem on mais temperatuur tõusnud Sõrves (2,9 °C). Juuni on ainus kuu, kus üheski jaamas ei ole muutus statistiliselt oluline, mille tõttu ei saa juuni temperatuuri muutusi arvestada. Juulis on keskmine õhutemperatuur tõusnud kõigis jaamades vähemalt kahe kraadi võrra. Kõige madalam on temperatuuritõus olnud Tiirikoja jaamas (2 °C). Kõige rohkem on juulis temperatuur tõusnud 2,7 °C Vilsandil. Augustis ja septembris jääb õhutemperatuuri tõus 1-2 °C vahele. Septembri andmetest ei ole statistiliselt oluline Virtsu tulemus.

Keskmiselt on terves Eestis suvekuudel temperatuur tõusnud 1,5 °C võrra. Kõige enam on tõusnud temperatuur Vilsandis (2 °C) ja kõige vähem Valgas ning Tiirikojal (1,2 °C). Keskmine õhutemperatuur on rohkem tõusnud ranniku ilmajaamades, kus madalaimaks tõusuks on 1,4°C Kundas. Mandrisisestest ilmajaamades on suurim temperatuuri tõus 1,7 °C Võru jaamas. Kogu uuritava perioodi jooksul on terves Eestis tõusnud keskmine õhutemperatuur 1,7 °C võrra. Kõige enam on temperatuur tõusnud Vilsandil (2,1 °C) ning Sõrves (2 °C). Kõige vähem on temperatuur tõusnud Valgas ja Kuusikul (1,4 °C).

**Tabel 2.** Keskmiste õhutemperatuuride (°C) muutused 67 aasta pikkuse perioodi jooksul. Statistiliselt olulised muutused on märgitud paksemas kirjas.

Ilmajaam	Mai	Juuni	Juuli	August	September	Juuni- august	Mai- september
Jõgeva	<b>2,1</b>	0,1	<b>2,2</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>
Kihnu	<b>2,5</b>	0,7	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>
Kunda	<b>2,6</b>	0,5	<b>2,2</b>	<b>1,7</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	<b>1,7</b>
Kuusiku	<b>1,9</b>	0,2	<b>2,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>
Ristna	<b>2,1</b>	0,6	<b>2,3</b>	<b>2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>
Sõrve	<b>2,9</b>	1,1	<b>2,5</b>	<b>2,1</b>	<b>1,7</b>	<b>1,9</b>	<b>2</b>
Tartu	<b>2,4</b>	0,5	<b>2,4</b>	<b>1,8</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>
Tiirikoja	<b>2,8</b>	0,4	<b>2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,9</b>	<b>1,2</b>	<b>1,6</b>
Türi	<b>2,2</b>	0,5	<b>2,5</b>	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>
Valga	<b>2</b>	0,2	<b>2,2</b>	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>1,4</b>
Viljandi	<b>2,1</b>	0,3	<b>2,2</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>
Vilsandi	<b>2,6</b>	1,2	<b>2,7</b>	<b>2,2</b>	<b>1,7</b>	<b>2</b>	<b>2,1</b>
Virtsu	<b>2,4</b>	0,7	<b>2,3</b>	<b>1,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>
Võru	<b>2,4</b>	0,6	<b>2,6</b>	<b>1,9</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	<b>1,8</b>

### 3.2. Kuumalained ning kuumapäevad Eestis perioodil 1951-2017

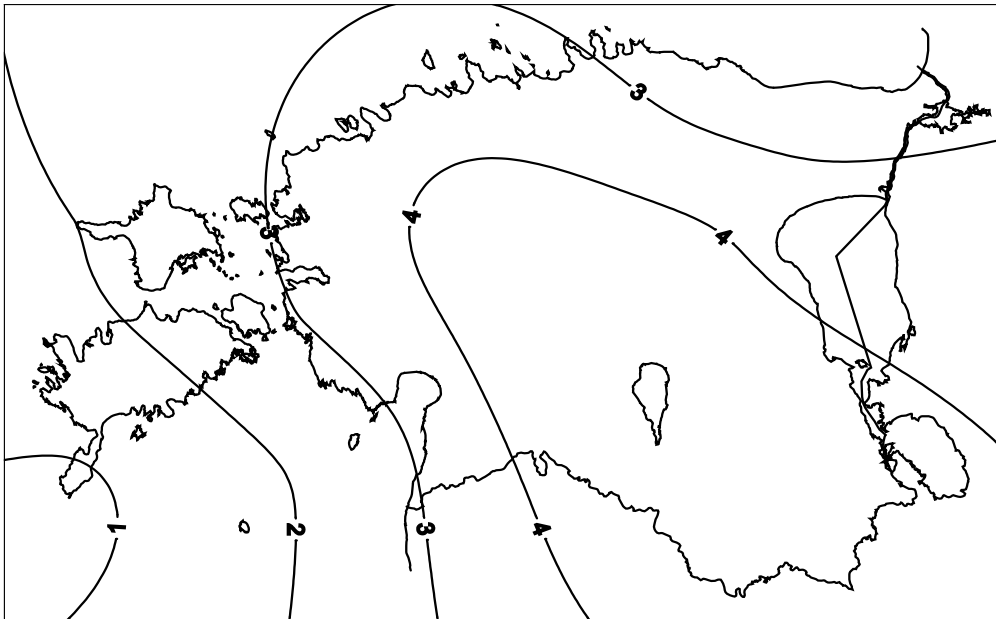
Tabelis 3 on välja toodud perioodil 1951-2017 Eesti ilmajaamades esinenud kuumalainete keskmised näitajad. Omavahel erinevad tulemuste poolest nii aastad kui ilmajaamad, mis on valitud antud töösse. Suurim erinevus esineb ranniku ning sisemaa ilmajaamade vahel (tabel 3). Keskmistes väärtustes tuleb selgelt esile, kuidas rannikujaamades (Kihnu, Kunda, Ristna, Sõrve, Vilsandi, Virtsu) on kuumalained olnud palju vähem ja nad on olnud leebemad. Sõrve ilmajaama andmetel on kuumalainete arv keskmiselt kõigest 0,3 korda aastas, mis tähendab, et 67 aastase perioodi jooksul on olnud rohkem aastaid kuumalaineteta. Lõuna-Eestis (Valga, Võru) seevastu on kuumalaineid keskmiselt kolm korda aastas.



**Tabel 3.** Perioodi 1951-2017 kõigi näitajate keskmised väärtused.

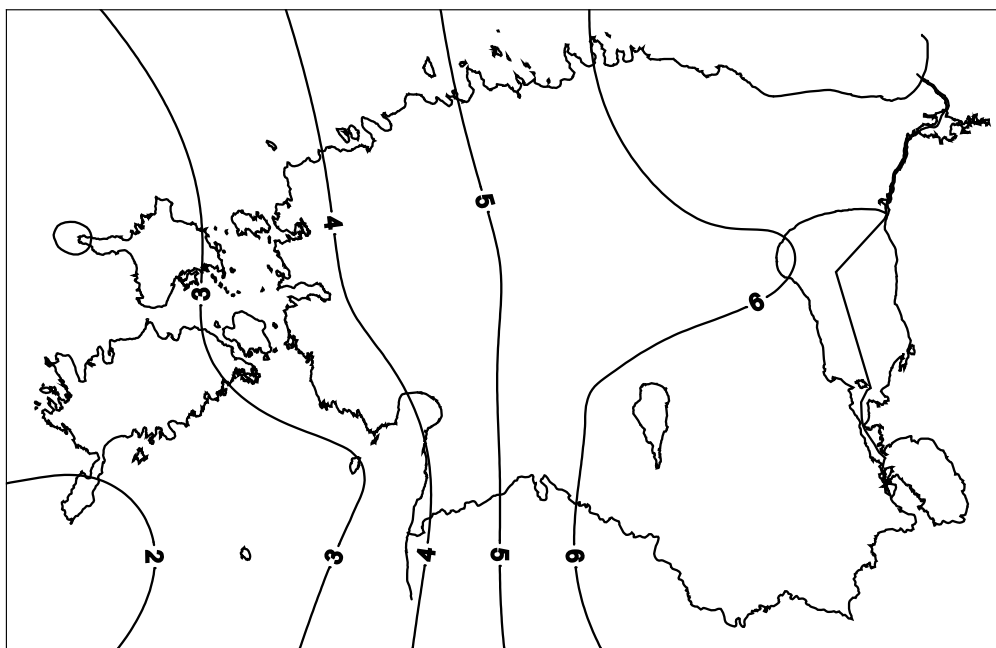
Ilmajaam	Kuumalainete arv	Keskmine kestus	Suurim kestus	Kuumapäevade arv	Keskmine kõrgeim temperatuur (°C)	Kuupäev
Jõgeva	2,4	4,6	6,1	5,9	29,5	12.07
Kihnu	0,9	2,3	2,6	2,8	27,4	9.07
Kunda	1	2,3	2,5	6,9	29,4	11.07
Kuusiku	2,6	4,4	5,8	4,8	29,2	10.07
Ristna	0,6	2	2,2	1,9	26,9	14.07
Sõrve	0,3	0,7	0,8	1,5	25,4	13.07
Tartu	2,5	4,5	6,2	6,3	30	13.07
Tiirikoja	1,4	3,5	4,1	5,9	28,7	10.07
Türi	2,7	4,6	6,1	5,3	29,5	10.07
Valga	3,2	4,7	6,7	7	30,4	14.07
Viljandi	2,6	4,8	6,7	6	29,9	10.07
Vilsandi	0,6	1,7	1,8	3	27,3	13.07
Virtsu	1	2,9	3,3	3,7	28,1	12.07
Võru	3,1	4,6	6,5	6,6	30,5	12.07

Kuumalainete kestus on oluline näitaja, mida arvestatakse päevades. Antud töös on vaadeldud kuumalainete keskmist ja maksimaalset kestust ühes aastas. Kogu perioodi jooksul on keskmiselt kuumalainete keskmine ning maksimaalne kestus suurem mandrisisestes jaamades (joonis 3). Nii Valgas kui Viljandis on kuumalainete maksimaalne kestus keskmiselt 6,7 päeva. Sõrves kõigest 0,8 päeva. Ranniku ilmajaamadest on kõige pikem kuumalaine kestus keskmiselt Virtsu ilmajaamas (3,3 päeva).



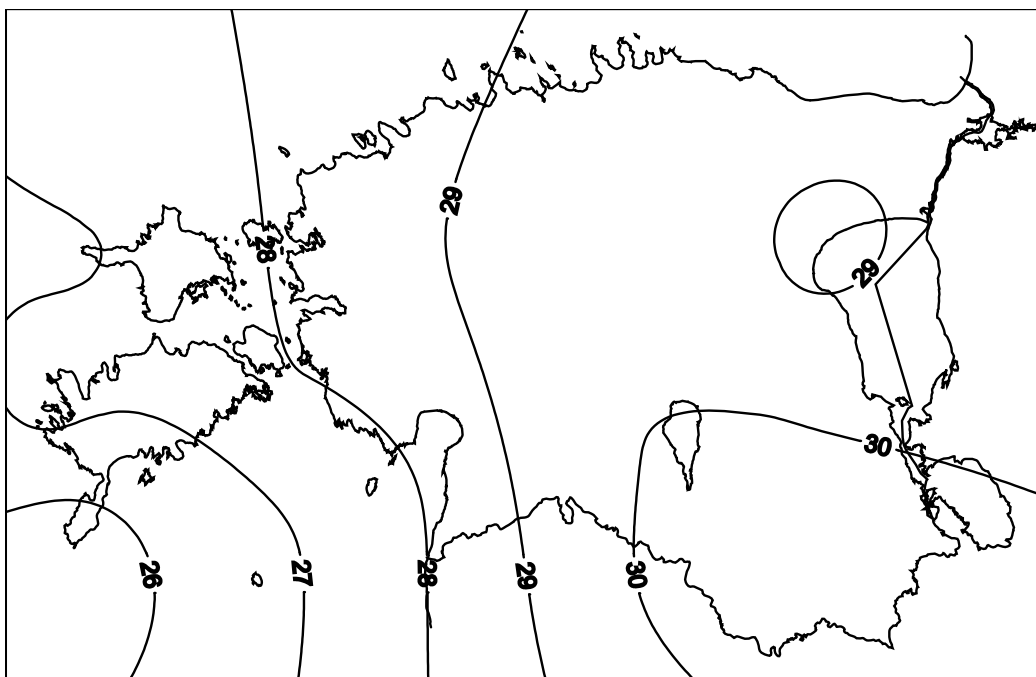
**Joonis 3.** Keskmise kuumalainete arv aastas perioodil 1951-2017.

Kõigis Eesti mandrisesestest ilmajaamades, välja arvatud Kuusikul (4,8 päeva), on keskmine kuumapäevade arv üle viie päeva aastas. Kundas on kuumapäevade arv samuti suhteliselt kõrge ehk 6,9 päeva keskmiselt aastas. Ülejäänud ranniku ilmajaamades on kuumapäevi keskmiselt alla nelja aastas (joonis 4). Keskmiselt kõige vähem esineb kuumapäevi Sõrves (1,5 päeva).



**Joonis 4.** Kuumapäevade keskmine arv aastas perioodil 1951-2017.

Keskmine aastane maksimaalne temperatuur jääb vahemikku 27-31 °C. Kõige madalam on keskmine maksimaalne õhutemperatuur Sõrves (25,4 °C) ja kõige kõrgem Võrus (30,5 °C). Rannikuilmajaamadest on kõige kõrgem maksimaalne temperatuur Kundas (29,4 °C), mis on sarnane Jõgeva (29,5 °C) ja Türi (29,5 °C) ilmajaamade keskmise maksimaalse temperatuuriga (joonis 5). Maksimaalse temperatuuri esinemise keskmine kuupäev jääb kõigis ilmajaamades juulikuusse. Kõige varasem kuupäev on Kihnus, kus keskmiselt esinevad maksimaalsed temperatuurid 9. juulil. Ülejäänud ilmajaamades esinevad maksimaalsed temperatuurid 10.-14. juulil. Puudub erinevus ranniku ja sisemaa ilmajaamade vahel.



**Joonis 5.** Keskmised aasta maksimaalsed õhutemperatuurid perioodil 1951-2017.

### 3.3. Kuumalainete maksimumid Eestis

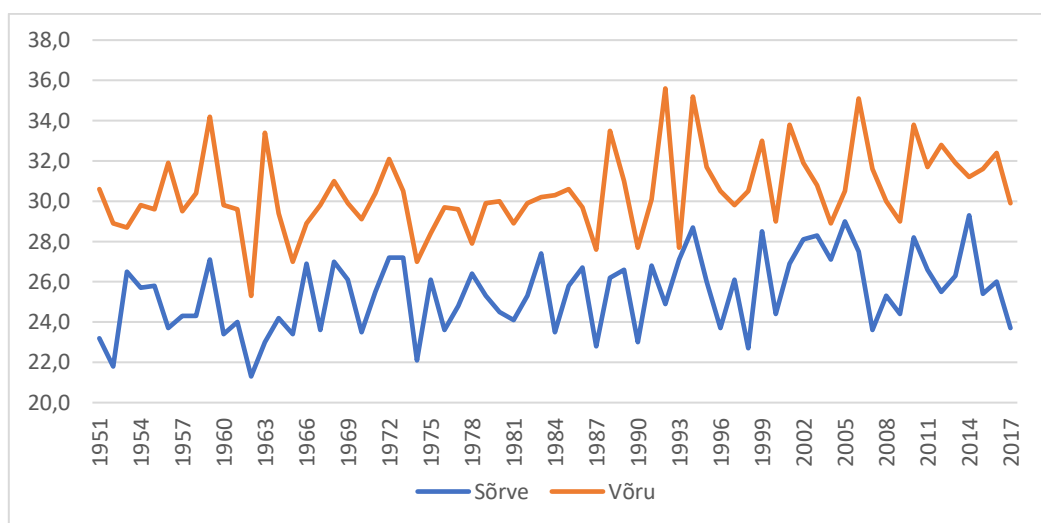
Üheks tähtsaimaks kuumade ilmadega seonduvaks tunnuseks on kõrge õhutemperatuur. Tabelis 4 on välja toodud kõigi ilmajaamade 67 aastase perioodi maksimaalsed temperatuurid ning nende esinemise kuupäev (tabel 4). Siiani on kogu Eesti maksimaalseks õhutemperatuuriks 35,6 °C, mis mõõdeti 11.08.1992 Võru ilmajaamas. Samal kuupäeval on registreeritud soojarekord ka Jõgeva (34,6 °C), Türi (34,3 °C) ja Viljandi (34,5 °C) ilmajaamades. Tartu ilmajaamas on siiani maksimaalne õhutemperatuur 1959. aastal registreeritud 34,9 °C. Ainus alla 30 °C olev rekordkuumus on Sõrve ilmajaamas, kus maksimaalseks temperatuuriks on 29,3° C, mis esines

2014. aastal. Kõige hilisemad rekordkuumused on leidnud aset 2014. aastal, mil lisaks Sõrvele esines maksimaalne temperatuur ka Vilsandil (32,4 °C) ja Virtsus (33 °C)

**Tabel 4.** Maksimumtemperatuurid ning pikimad kuumalained ilmajaamade kaupa perioodil 1951-2017.

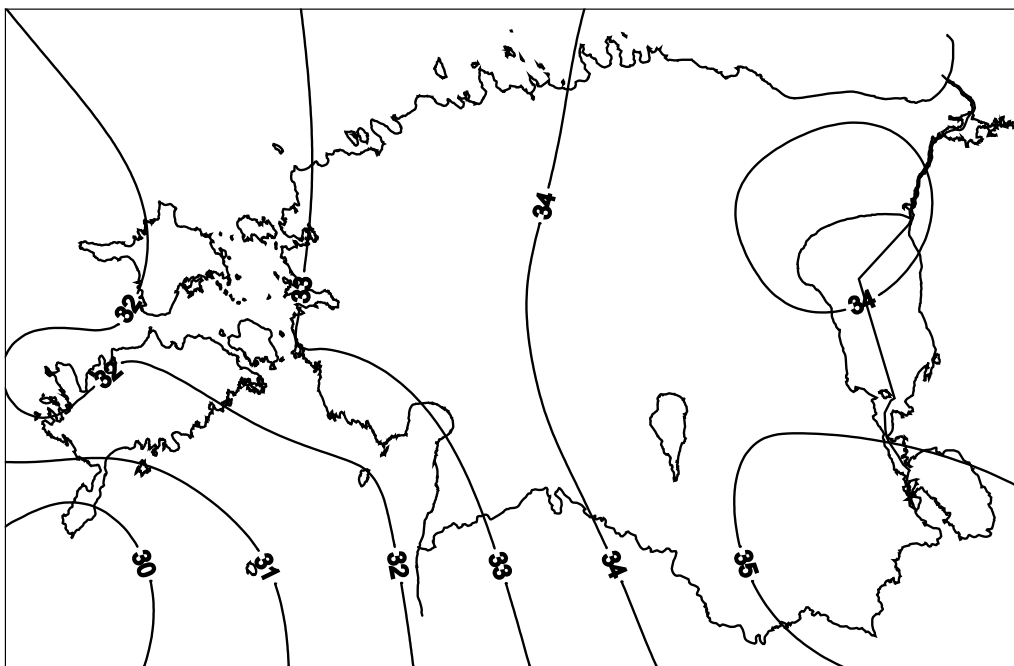
Ilmajaam	Maksimumtemperatuurid		Pikim kuumalaine	
	Temperatuur (°C)	Kuupäev	Kestus (päevades)	Kuupäev
Jõgeva	34,6	11.08.1992	28	3.-30.07.2010
Kihnu	31,8	16.07.2003	11	21.-31.07.2014
Kunda	34,4	8.08.2010	14	10.-23.07.2010
Kuusiku	33,6	30.07.1994	22	21.07.-11.08.2014
Ristna	31,5	30.07.2003	16	4.-19.07.2005
Sõrve	29,3	24.07.2014	7	24.-30.07.2014 28.07.-3.08.2003
Tartu	34,9	13.07.1959	26	4.-29.07.2010
Tiirikoja	33,3	25.07.1963	26	5.-30.07.2010
Türi	34,3	30.07.1994 11.08.1992	22	14.07.-4.08.2003
Valga	34,4	9.07.2006	19	21.07.-8.08.2014
Viljandi	34,5	11.08.1992	27	3.-29.07.2010
Vilsandi	32,4	4.08.2014	11	24.07.-3.08.2003
Virtsu	33	4.08.2014	22	21.07.-11.08.2014
Võru	35,6	11.08.1992	28	4.-31.07.2010

Maksimaalsed temperatuurid erinesid kõige enam Sõrve ja Võru ilmajaamades, kus suhteliselt suur erinevus leidis aset terve uuritava perioodi jooksul (joonis 6).



**Joonis 6.** 1951-2017 aastased maksimaalsed õhutemperatuurid Sõrvel ja Võrus.

Rannikuilmajaamadest on kõige kõrgem maksimaalne temperatuur registreeritud Kunda ilmajaamas, kus 2010. aastal esines 34,4 °C kuumus. Kõige väiksem maksimaalne õhutemperatuur Võrus oli 1962. aastal 25,3 °C ning Sõrvel samal aastal 21,3 °C. Temperatuuride erinevus näitab ranniku ning sisemaa ilmajaamade erinevust (joonis 7). Sõrve ilmajaama maksimaalsed temperatuurid erinevad ranniku ilmajaamadest kõige enam.



**Joonis 7.** Maksimaalsed õhutemperatuurid Eestis perioodil 1951-2017.

Kuumalaine üheks tugevuse määrajaks on kuumalaine kestus. Kõigi ilmajaamade registreeritud pikimad kuumalained on leidnud aset peale 2000. aastat. Eestis on maksimaalseks kuumalaine kestuseks 28 järjestikust päeva. Maksimaalne kestus esines 2010. aastal nii Jõgeva (3.-30.07.2010) kui Võru (4.-31.07.2010) ilmajaamas. 2010. aasta juulikuus esinesid rekordpikkusega kuumalained veel Viljandi, Tiirikoja, Tartu ja Kunda ilmajaamades. Kogu Eesti rekordile järgneb 27 päevane kuumalaine, mis leidis aset Viljandis samuti 2010. aastal 3.-29.juulil. Ka Tartus ja Tiirikojal märgitud 26 päevased kuumalained esinesid 2010. aasta juulis. Kui hinnata kuumalainete tugevust vaid selle parameetri järgi, olekski 2010. aasta kõige võimsamate kuumalainetega. Sellele järgneb 2014. aasta, mil viies jaamas registreeriti pikim kuumalaine. Pikimatest kuumalainetest on kõige lühem vaid 7 päeva, mis leidis aset Sõrve ilmajaamas 2003. ja 2014. aastal. Ranniku ilmajaamadest on kõige pikema kuumalainega Virtsu ilmajaam, kus 2014. aastal registreeriti 22 päeva pikkune kuumalaine.

### 3.4. Aastatevaheline varieeruvus

Aastatevahelist varieeruvust on vaadeldud standardhälbe järgi. Mida suurem on standardhälve, seda suuremad on aastatevahelised erinevused. Kõige rohkem erineb olenevalt aastast maksimumtemperatuuri kuupäev (tabel 5). Kuna 25 °C ning enam esineb aprillist septembri keskpaigani, siis on ka maksimumtemperatuuride esinemisvõimalus kuus kuud pikk. Kõige varasem aastase maksimaalse temperatuuri esinemise kuupäev on 28. aprill, mil Tiirikoja ilmajaamas registreeriti 1993. aasta kõige kõrgemaks temperatuuriks 25,8 °C. Hiliseim maksimaalne temperatuur esines 5. septembril Vilsandi ilmajaamas, kui 1968. aastal registreeriti aasta kõrgeimaks temperatuuriks 27,9 °C. Keskmine maksimaalse temperatuuri esinemise kuupäeva standardhälve on 25,2 päeva. Väikseim varieeruvus on Sõrves (22,1 päeva) ja kõrgeim Tiirikojal (27,4 päeva). Tiirikoja suurem tulemus seisneb aprillis esinenud maksimaalses temperatuuris, mis on pigem harukordne juhus ning selle tõttu on aastatevaheline varieeruvus niivõrd suur. Hiliseim maksimaalse temperatuuri esinemise kuupäev on Tiirikojal 27. august.

**Tabel 5.** Standardhälbed perioodil 1951-2017.

Ilmajaam	Kuumalainete arv	Keskmine kestus	Suurim kestus	Kuumapäevade arv	Kõrgeim temperatuur	Kuupäev
Jõgeva	1,6	2,5	4,4	3,5	1,7	24,5
Kihnu	1,2	2,5	3	2,2	1,9	24,7
Kunda	1,3	2,3	2,9	3,5	1,9	26,3
Kuusiku	1,8	2,3	4	3	1,7	25
Ristna	0,8	2,9	3,1	1,9	2,1	23,3
Sõrve	0,6	1,6	1,8	1,9	1,9	22,1
Tartu	1,7	2,5	4,4	3,1	1,96	26,5
Tiirikoja	1,4	3,8	4,6	3,9	1,6	27,4
Türi	1,8	3	4,3	3,2	1,8	23,5
Valga	2,1	2,4	3,9	3,7	1,8	25,3
Viljandi	1,9	3,2	4,9	3,3	1,9	26,6
Vilsandi	0,9	2,3	2,5	2,5	2,2	24,2
Virtsu	1,1	2,9	3,8	2,6	2,1	25,5
Võru	2,2	2,3	4,5	3,2	2	25,5

Kuumalainete arvukuse aastatevaheline varieeruvus on väga väike Ristna (0,8) ja Sõrve (0,6) ilmajaamades. Antud ilmajaamades on kogu perioodi jooksul esinenud kõige vähem kuumalaineid. Kõige suurema varieeruvusega on Valga (2,1) ja Võru (2,2) ilmajaamades

kuumalainete arvukus. Nendes jaamades on ka üldiselt olnud kõige rohkem kuumalaineid kokku perioodil 1951-2017. Väiksem aastatevaheline erinevus esineb rannikuilmajaamades, kus suurima aastatevahelise varieeruvusega on Kunda ilmajaam (1,3).

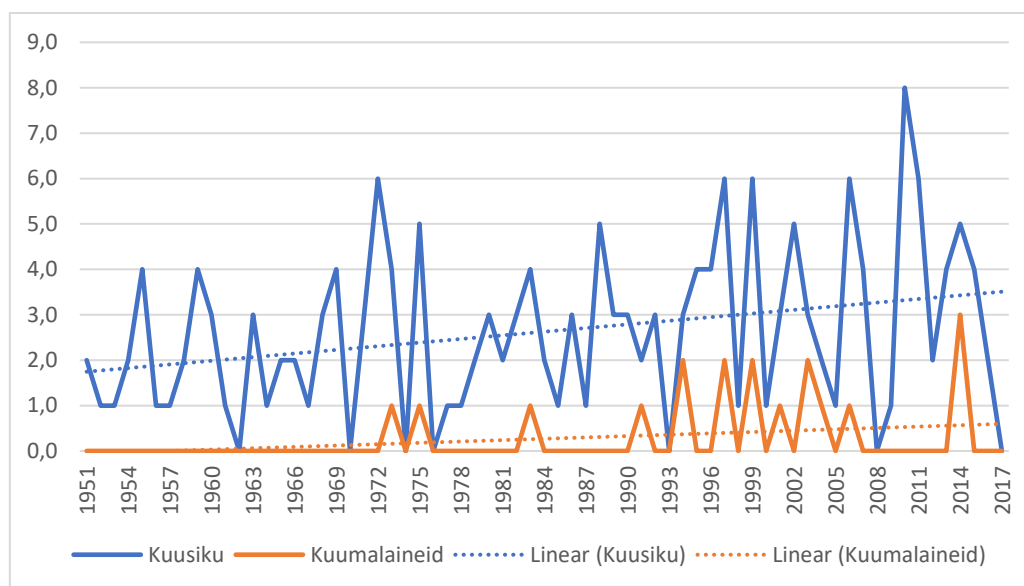
Kuumalainete keskmine kestus on olnud mõningase erinevusega olenevalt aastast. Kõige suurem varieeruvus esineb Tiirikoja ilmajaamas (3,8 päeva) ning väikseim (1,6 päeva) Sõrve ilmajaamas. Sõrvel on ka kuumalainete maksimaalse kestuse standardhälve kõige väiksem (1,8 päeva). Aastatevaheline varieeruvus on suurem maksimaalse kestuse puhul, mil mõnel aastal võib kuumalaine kestus olla üle 20 päeva ning järgmisel 0 päeva. Näiteks Võrus on kuumalaine keskmise kestuse standardhälve 2,3 ja maksimaalse kestuse oma 4,5 päeva. Nii maksimaalse kestuse kui keskmise kestuse aastatevahelises varieeruvuses ei ole märgata erinevust ranniku ning sisemaa ilmajaamade vahel.

### **3.5. Trendianalüüs**

#### **3.5.1. Kuumalainete pikaajaline muutus**

Kuumalainete pikaajaliste muutuste määramiseks on antud töös arvestatud kuumalainete arvu aastas, kuumalainete keskmist kestust aastas, kuumalainete maksimaalset kestust ühel aastal ning kuumalainete keskmist temperatuuri. 67 aasta pikkuse perioodi muutuste kindlaks tegemiseks on arvutatud tõusutegur ning seejärel korrutatud see 67 aastaga. Statistiliselt oluline on muutus juhul, kui  $p$  väärtus on väiksem kui 0,05 ( $p < 0,05$ ).

Kuumalainete arvukus on tõusnud antud perioodi jooksul kõigis ilmajaamades (tabel 6). Statistiliselt oluliselt on tõusnud kuumalainete arv Kihnu, Kuusiku, Ristna, Sõrve, Türi, Vilsandi ja Virtsu ilmajaamades. Kõige rohkem on tõusnud kuumalainete arvukus Kuusiku (1,8) ja Kihnu (1,7) ilmajaamades. Statistiliselt olulistest tulemustest on kõige vähem tõusnud arvukus Ristna ja Sõrve ilmajaamades – 0,7 korda. Sõrve ilmajaamas esines alates 1951. aastast esimene kuumalaine alles 1972. aastal ning kõige rohkem kuumalaineid oli 2014. aastal. Kuusiku ilmajaamas on samal perioodil esinenud palju rohkem ja intensiivsemaid kuumalaineid, mille tõttu on ka trend tugevam (joonis 8).



**Joonis 8.** Kuumalainete arvukus ning muutuse trend Kuusiku ja Sõrve ilmajaamas

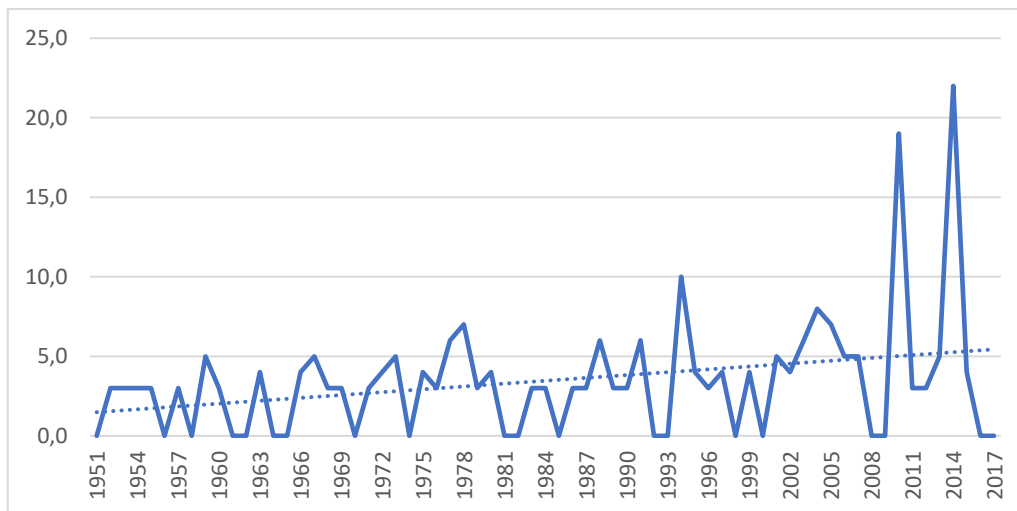
**Tabel 6.** Perioodi 1951-2017 andmetel keskmised kuumalainete arvud, kestused, maksimaalsed kestused. Lisaks keskmistele on välja arvatud muutus, mis on toimunud 67. aastase perioodi jooksul. Paksus kirjas on statistiliselt olulised muutused.

Ilmajaam	Kuumalainete arv		Kuumalainete kestus keskmiselt		Maksimaalne kestus	
	Keskmine	Muut	Keskmine	Muut	Keskmine	Muut
Jõgeva	2,4	0,6	4,6	1,4	6,1	<b>4,5</b>
Kihnu	0,9	<b>1,7</b>	2,3	1,8	2,6	<b>2,6</b>
Kunda	1	0,7	2,3	1,9	2,5	<b>2,9</b>
Kuusiku	2,6	<b>1,8</b>	4,4	0,8	5,8	<b>3,7</b>
Ristna	0,6	<b>0,7</b>	2	2,2	2,2	<b>2,6</b>
Sõrve	0,3	<b>0,7</b>	0,7	<b>1,5</b>	0,8	<b>1,7</b>
Tartu	2,5	1,1	4,5	2,1	6,2	<b>4,8</b>
Tiirikoja	1,4	0,8	3,5	<b>4</b>	4,1	<b>5,2</b>
Türi	2,7	<b>1,5</b>	4,6	1,3	6,1	<b>4,7</b>
Valga	3,2	0,6	4,7	0,7	6,7	3,2
Viljandi	2,6	1	4,8	2,4	6,7	<b>6</b>
Vilsandi	0,6	<b>0,9</b>	1,7	<b>2</b>	1,8	<b>2,4</b>
Virtsu	1	<b>1</b>	2,9	<b>2,8</b>	3,3	<b>4,5</b>
Võru	3,1	1,3	4,6	1,5	6,5	<b>5</b>

Kuumalainete keskmine kestus on suurenenud kõigis ilmajaamades, kuid see muutus varieerub 0,7 ja 4 päeva vahel olenevalt ilmajaamast. Statistiliselt oluline on muutus vaid Sõrve, Tiirikoja, Vilsandi ja Viljandi ilmajaamas. Kõige rohkem on keskmine kestus suurenenud Tiirikoja ilmajaamas (joonis 9), kus see on aja jooksul suurenenud nelja päeva võrra. Tiirikoja jaama andmetel olid kaks kõige pikemate kuumalainete kestusega aastat 2010 ja 2014. Sõrve

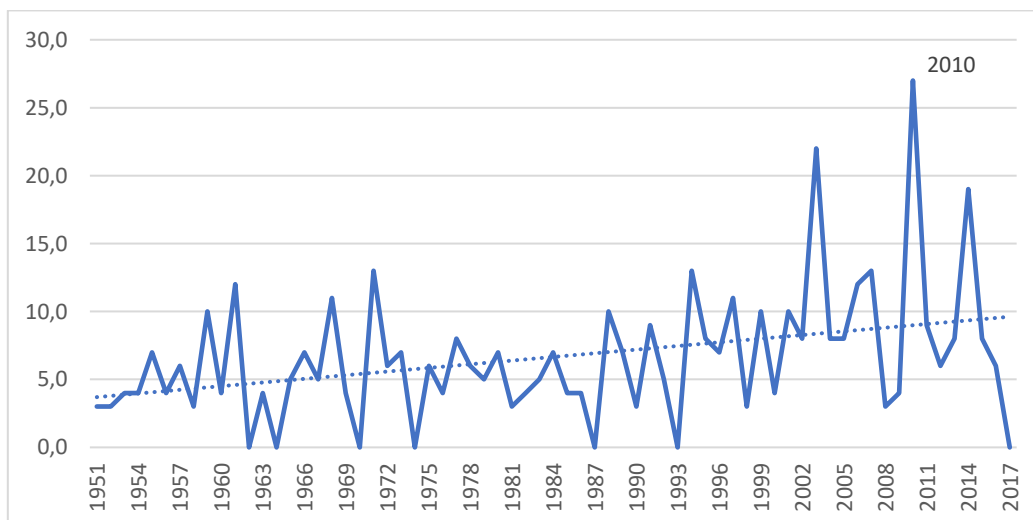


ilmajaamas on suurenenud kuumalainete keskmine kestus 1,5 päeva võrra. Kõige vähem on kuumalainete keskmine kestus suurenenud Valgas (0,6), kuid see ei ole statistiliselt oluline muutus.



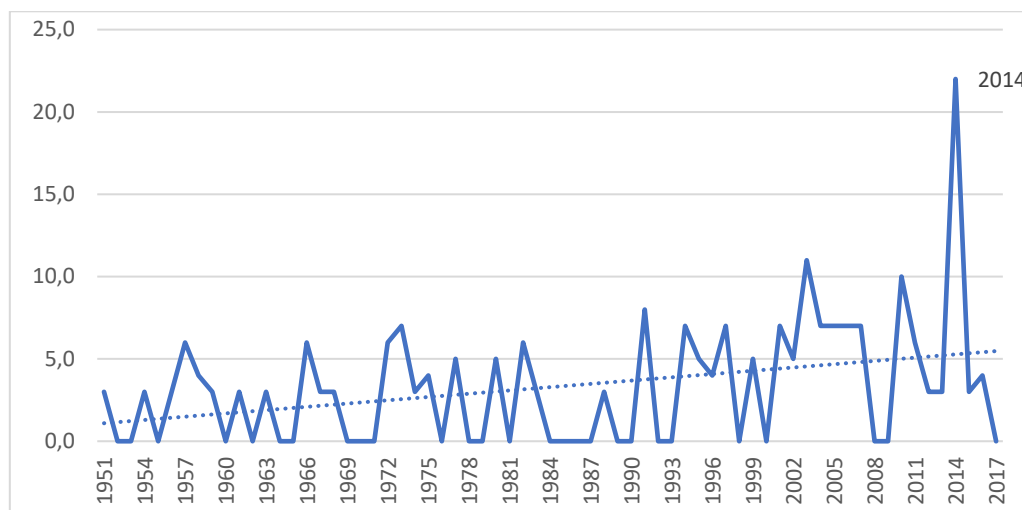
**Joonis 9.** Kuumalainete keskmine kestus Tiirikoja ilmajaamas perioodil 1951-2017 ning muutuse trend.

Keskmisest kuumalaine kestusest veelgi rohkem on suurenenud kuumalaine maksimaalne kestus. Antud muutus on statistiliselt oluline kõigis ilmajaamades peale Valga, kus on muutuseks 3,2 päeva. Kõige enam ehk 6 päeva on suurenenud maksimaalne kuumalaine kestus Viljandi ilmajaamas (joonis 10). Kõige pikemaks kuumalaine perioodiks Viljandis on 2010. aastal esinenud 27 päevane kuumalaine, millele eelnes 22 päevane kuumalaine 2003. aastal. Pikkuselt kolmandale kohale jääb 19 päevane kuumalaine 2014. aastal.



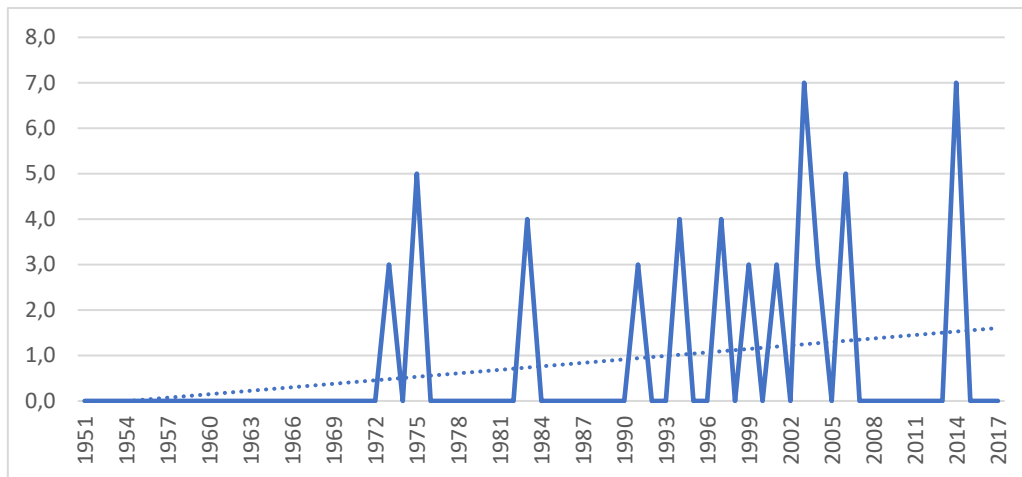
**Joonis 10.** Kuumalaine maksimaalne kestus Viljandi ilmajaamas perioodil 1951-2017 ning muutuse trend.

Ranniku jaamadest on kõige rohkem suurenenud maksimaalne kuumalaine kestus Virtsu ilmajaamas – 4,5 päeva (joonis 11). Virtsus on kuumalainete maksimaalne kestus tõusnud pidevalt alates 1951. aastast. 2014. aastal leidis Virtsus aset 22 päeva pikkune kuumalaine, mis on kaks korda pikem eelmisest, 2003. aastal esinenud 11 päevasest maksimaalse pikkusega kuumalainest.



**Joonis 11.** Kuumalaine maksimaalne kestus Virtsu ilmajaamas perioodil 1951-2017 ning muutuse trend.

Ülejäänud ranniku ilmajaamades jääb maksimaalse kuumalaine kestuse tõus alla kolme päeva. Sõrve ilmajaamas on maksimaalne kestus suurenenud kõigest 1,7 päeva võrra (joonis 12). Sõrve ilmajaama kuumalained on võrreldes ülejäänud ilmajaamade omadega palju lühemad. Maksimaalseks kestuseks on kõigest 7 päeva, mis esines 2003. ning 2014. aastal. 2010. aastal, mil paljudes ilmajaamades registreeriti maksimaalsed kuumalainete pikkused, ei esinenud Sõrvel ühtegi kuumalainet. Üldiselt tuleb välja, et maksimaalne kuumalaine kestus on suurenenud rohkem sisemaa ilmajaamades ning vähem ranniku ilmajaamades.



**Joonis 12.** Kuumalaine maksimaalne kestus Sõrve ilmajaamas perioodil 1951-2017 ning muutuse trend.

### 3.5.2. Kuupäevade ja maksimaalsete õhutemperatuuride muutus

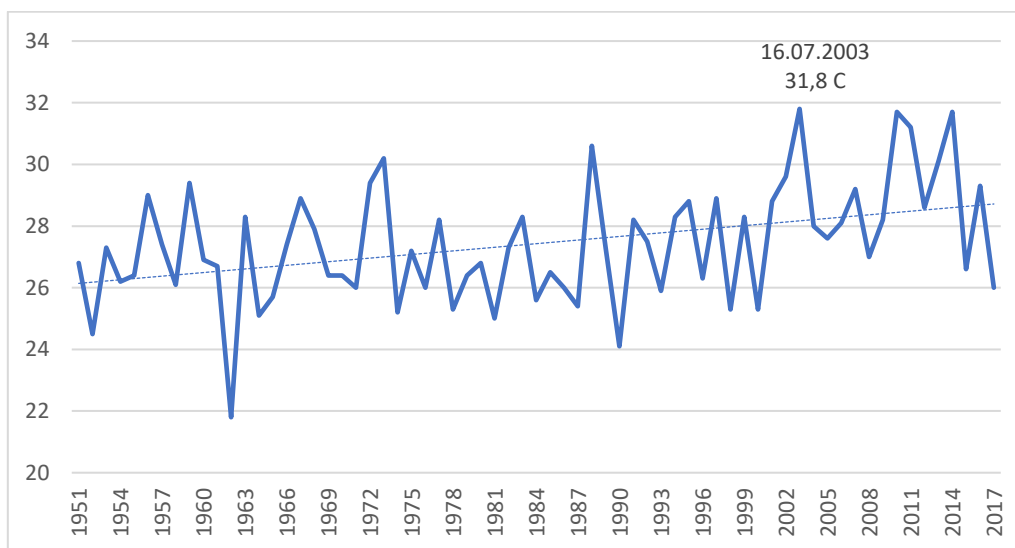
Lisaks kuumalainetele on antud töös uuritud ka kuupäevade ehk üksikute üle 25 °C temperatuuriga päevade esinemist. Kuna kõrge õhutemperatuur iseloomustab kuumalainet ja selle tugevust, on vaadeldud ka aastaseid maksimaalseid õhutemperatuure ning nende esinemise kuupäeva (tabel 7).

Kuupäevade arvu muutus on olenevalt ilmajaamast vägagi erinev ning statistiliselt oluline on muutus vaid Sõrves, kus kuupäevade arv on tõusnud 1,6 päeva võrra. Viies ilmajaamas on kuupäevade arv hoopis vähenenud, kuid antud tulemusi ei saa arvestada, kuna need ei oma statistiliselt tähtsust ( $p > 0,05$ ).

**Tabel 7.** Kuupäevade arv, aasta maksimumtemperatuur (°C) ning maksimumtemperatuuri kuupäeva keskmised tulemused ja muutused perioodil 1951-2017. Paksus kirjas on statistiliselt olulised muutused.

Ilmajaam	Kuupäevade arv		Aasta maksimumtemperatuur		Maksimumtemperatuuri kuupäev	
	Keskmine	Muut	Keskmine	Muut	Keskmine	Muut
Jõgeva	5,9	-0,6	29,5	<b>1,6</b>	12.juuli	<b>25,5</b>
Kihnu	2,8	1,6	27,4	<b>2,6</b>	9.juuli	0,8
Kunda	6,9	0,7	29,4	1,1	11.juuli	17,5
Kuusiku	4,8	-0,9	29,2	<b>1,5</b>	10.juuli	12,2
Ristna	1,9	1	26,9	1,3	14.juuli	7,2
Sõrve	1,5	<b>1,6</b>	25,4	<b>2,5</b>	13.juuli	11,4
Tartu	6,3	-0,3	30	1,5	13.juuli	20
Tiirikoja	5,9	2,6	28,7	1	10.juuli	0,1
Türi	5,3	-0,9	29,5	<b>1,9</b>	10.juuli	<b>22</b>
Valga	7	-0,2	30,4	1,2	14.juuli	<b>26,6</b>
Viljandi	6	0,2	29,9	<b>2,1</b>	10.juuli	<b>28,1</b>
Vilsandi	2,96	0,5	27,3	0,6	13.juuli	3,6
Virtsu	3,7	1,8	28,1	1,8	12.juuli	-1
Võru	6,6	0,6	30,5	<b>2,4</b>	12.juuli	<b>27,8</b>

Aasta maksimaalne õhutemperatuur on tõusnud kõigis ilmajaamades. Statistiliselt oluline on muutus Jõgeva, Kihnu, Kuusiku, Sõrve, Türi, Viljandi ning Võru ilmajaamades. Kõige enam on maksimaalne temperatuur tõusnud 2,6 °C võrra Kihnu ilmajaamas (joonis 13). Ka Sõrves on maksimaalse õhutemperatuuri tõus olnud üks suuremaid – 2,5 °C.



**Joonis 13.** Maksimaalsed õhutemperatuurid Kihnu ilmajaamas perioodil 1951-2017 ning muutuse trend.

Statistiliselt olulistest tulemustest on kõige vähem tõusnud maksimaalne õhutemperatuur Kuusiku ilmajaamas, kus antud perioodi jooksul on temperatuur tõusnud 1,5 °C võrra. Kõige väiksem õhutemperatuuri tõus on leidnud aset Vilsandi ilmajaamas, kus antud ajaperioodi jooksul on temperatuur tõusnud 0,6 °C, kuid muutus ei ole statistiliselt oluline. Igas ilmajaamas on muutus erinev ning antud andmete järgi ei saa väita, et mingis suuremas piirkonnas oleks muutus sarnane. Näiteks Lõuna-Eestis on Võru ilmajaamas tõusnud temperatuur 2,4 °C, kuid Valgas 1,2 °C, mis on sarnane hoopis Ristna ilmajaama temperatuuri tõusuga. (1,3 °C).

Maksimaalse õhutemperatuuri esinemise kuupäeva muutus varieerub ilmajaamade vahel kõige enam. Kõigi statistiliselt oluliste tulemuste puhul on maksimaalse õhutemperatuuri kuupäev lükkunud sügise poole üle 20 päeva. Statistiliselt olulised muutused esinevad Jõgeva, Türi, Valga, Viljandi ja Võru ilmajaamades. Kõige enam on kuupäev edasi lükkunud Viljandi ilmajaamas (28 päeva). 27,8 päeva võrra on kuupäev edasi lükkunud ka Võrus. Statistiliselt olulistest tulemustest on kõige väiksem tulemus 22 päevane muutus, mis esines Türi ilmajaamas.

Statistiliselt mitteolulistest tulemustest on Virtsu ilmajaamas toimunud maksimaalse õhutemperatuuri kuupäeva esinemise lükkumine kevade poole ühe päeva võrra. Muutusteta (0,1 päeva) on Tiirikoja ilmajaama kuupäeva nihkumine. Ka Kihnus on märgata minimaalset kuupäeva muutust (0,8 päeva).

Kõigis Lõuna-Eesti (Valga, Viljandi, Tartu ja Võru) ilmajaamades on maksimaalse õhutemperatuuri kuupäev nihkunud vähemalt 20 päeva võrra sügise poole. Ülejäänud ilmajaamades on tulemused erinevad.

## 4. Arutelu

Kliima soojenemine on üheks suurimaks globaalseks probleemiks tänapäeval. Alates 20. sajandi keskpaigast on märgatud ekstreemset atmosfääri soojenemist (IPCC, 2014). Eestis on sellest ajast peale keskmine õhutemperatuur suurenenud 1-1,7 °C olenevalt ilmajaamast. Suurimat tõusu on märgatud märtsis, mil temperatuur on tõusnud 3-5 °C. (Jaagus, 2006). 2017. aastaks on perioodil mai-september kõige enam soojenenud maikuu, mil suuremat soojenemist on märgata ranniku ilmajaamades. Kõige enam on temperatuur tõusnud 2,9 °C Sõrves. Juuni on ainuke kuu antud perioodist, mil soojenemist ei saa märkida, kuna tulemused ei ole statistiliselt olulised. Juulis on igas ilmajaamas temperatuur tõusnud vähemalt 2 °C. Augustis ja septembris on keskmiselt temperatuur soojenenud 1,6 °C. Suvekuude (juuni, juuli, august) perioodil on keskmiselt kogu Eestis temperatuur tõusnud 1,5 °C ning kogu uuritava perioodi jooksul (mai-september) 1,7 °C.

Kuumalainete tugevuse määramiseks on võimalik kasutada erinevaid näitajaid. Antud bakalaureusetöös on kuumalaineid iseloomustatud kuumalainete arvu, keskmise kestuse ning maksimaalse kestuse kaudu. Kõik näitajad on tõusutrendis. Kuumalainete arvukuse puhul tuleb siiski arvestada, et nende rohkus ei ole seotud üldiselt kuumalainete tõsidusega aasta jooksul. Näiteks võib ühel aastal olla kolm kolmepäevast kuumalainet ning järgmisel aastal üks 20 päevane kuumalaine. Tuleb arvestada, et mida pikemat aega kuumalaine kestab, seda tõsisemad on selle mõjud (Rusticucci, Vargas, 2002). Kuumalainete temperatuuri ei ole antud töös kasutatud. Vaadeldud on hoopis absoluutseid maksimaalseid temperatuure iga aasta kohta.

Nagu ka varasemates uuringutes märgitud (Tammets, 2012), on märkimisväärsed soojalained Eestis esinenud aastatel 1992, 1994, 2003, 2006 ja 2010. Eesti absoluutne soojarekord pärineb aastast 1992, mil Võru ilmajaamas mõõdeti 11. augustil 35,6 °C. Samal kuupäeval mõõdeti soojarekordid ka Jõgeval (34,6 °C), Türis (34,3 °C) ja Viljandis (34,5 °C). 1992. aasta ei olnud kuidagi ekstreemne kuumalainete poolest. Tollased ekstreemsed temperatuurid kestsid vaid mõne üksiku päeva. Kuues ilmajaamas ei olnud 1992. aastal ühtegi kuumalainet ning ülejäänud jaamades oli tegemist keskmiselt kolmepäevaste kuumalainetega.

Üheks tõsiseimaks kuumalaineiks Euroopas perioodil 1950-2012 oli 1994. aasta kuumalaine, mil mitmed tõsised kuumalained katsid suure ala Tšehhist (Lhotka, 2018). Ka Eestit mõjutas

1994. aasta Euroopa kuumalaine. Türi (34,3 °C) ning Kuusiku (33,6 °C) absoluutsed soojarekordid pärinevad 1994. aastast. Ristna oli ainus piirkond, kus 1994. aastal ühtegi kuumalainet ei esinenud. Ülejäänud jaamades esines kaks kuni kolm kuumalainet, mille pikkused olid ranniku ilmajaamades lühemad ning sisemaal pikemad, ulatudes kaheksas jaamas 13 päevani.

2003. aastal esinenud kuumalaineid peetakse tõsisimateks kogu Euroopas. Kuumalaine kesse asus Kesk-Euroopas ning erakordselt kuumad ilmad valdasid maist augusti lõpuni (Schär et al., 2004). 2003. aasta kuumalaine ei mõjutanud Eestit nii tugevalt kui ülejäänud Euroopat, kuid siiski esinesid sel aastal igas ilmajaamas kuumalained. Kihnu (31,8 °C) ja Ristna (31,5°C) ilmajaamades mõõdeti 2003. aastal rekordkuumused. Kuumalained, mis 2003. aastal Eestis esinesid olid küllalt pika kestvusega. Kolmes ilmajaamas mõõdeti absoluutsed rekordpikkused. Kuusikul ja Türil kestis kuumalaine 22 järjestikust päeva ning Sõrves 7 päeva. Kõigis ilmajaamades kestsid 2003. aastal kuumalained üle viie päeva.

2006. aastat, mil Valgas mõõdeti 34,4 °C rekordkuumus peetakse samuti üheks tugevamate kuumalainetega aastaks. Kuumalaineid esineb küll kõigis jaamades, kuid näitajad on suhteliselt keskmised. Midagi ekstreemset ega äärmuslikku 2006. aastal ei saa täheldada. Maksimaalseks kestuseks on 13 päeva, kuid keskmiselt on kestus olnud 6 päeva.

Vaieldamatult üks äärmuslikemaid aastaid kuumade temperatuuride poolest on 2010. aasta, mil praktiliselt terve juuli oli üle 25 °C paljudes piirkondades. Ühtegi soojarekordit ei purustatud, kuid maksimaalne kuumalaine pikkus mõõdeti 28 päeva Jõgeval ja Võrus. Tartus ja Tiirikojas mõõdeti 2010. aasta juulis kuumalaine kestuseks 26 päeva, mis on samuti nende ilmajaamade pikimad kuumalained perioodil 1951-2017. Ka Viljandis (27 päeva) ja Kundas (14 päeva) mõõdeti 2010. aastal rekordpikkusega kuumalained. 2010. aasta suve peetakse viimase 500 aasta kõige äärmuslikumaks Ida-Euroopas ning Lääne-Venemaal (Barriepedro et al., 2010).

Järgnevas äärmuslikuks suveks Eestis on 2014. aasta suvi, mis on kohati võrreldav 2010. aasta omaga. Kuumalained esinesid kõigis ilmajaamades ning keskmiselt kestsid 7 päeva. Sõrve (29,3 °C), Vilsandi (32,4 °C) ja Virtsu (33 °C) ilmajaamades mõõdeti 2014. aastal absoluutsed temperatuuri rekordid. Viies ilmajaamas mõõdeti ka 67 aasta pikkuse perioodi kõige pikemad kuumalained (22, 19, 11 ja 7 päevased).

Territoriaalselt tuleb selgelt esile, et ranniku ilmajaamades on kõrgemad temperatuurid madalamad ning kuumalainete näitajad väiksemad kui mandrisisestes jaamades. Kõige leebemad kuumalained ja madalamad temperatuurid on Sõrves, kus tuul kannab jahedamat õhku merelt. Soojemad temperatuurid esinevad Sõrves kui õhk kandub idast või kagust. Kunda ja Virtsu on ranniku ilmajaamadest paljude näitajate poolest kõige soojemad. Kundas tuleneb see maatuulest, mis kannab mandrilt soojemat õhku põhjarannikule. Keskmiste õhutemperatuuride poolest on ranniku ilmajaamad külmemad suve alguses, kuid suve lõpu poole on keskmised temperatuurid suuremad kui teistes ilmajaamades. Põhjus seisneb mere aeglasemal soojenemisel kevadel ning jahtumisel sügisel. Terve uuritava perioodi jooksul on keskmiselt soojemad temperatuurid Lõuna-Eestis.

Trendianalüüsis tuleb välja, et suurenenud on kuumalainete arv, keskmine kestus ning maksimaalne kestus. Kõige rohkem on kuumalainete arv suurenenud Kuusikul (1,8 korda) ning Kihnus (1,7 korda). Kõige enam on tõusnud kuumalainete maksimaalne kestus. Viljandis on antud perioodil tõusnud kuumalainete maksimaalne kestus 6 päeva võrra. Ka Võrus (5 päeva) ja Tartus (4,8 päeva) on maksimaalne kestus märgatavalt tõusnud. Sellega kinnitan hüpoteesi, millega eeldasin, et nagu mujal Euroopas, on ka Eestis märgata kuumalainete sageduse ning tugevuse suurenemist.

Kuumapäevade arv on suurenenud vaid Sõrve (1) ja Ristna ilmajaamades (1,6). Aasta maksimaalne temperatuur on tõusnud kõigis ilmajaamades. Kõige enam 2,6 °C võrra Kihnus ning 2,4 °C võrra Võrus. Huvitavaks muutuseks on maksimaalse temperatuuri esinemise kuupäev, mis on nihkunud üle 20 päeva sügise poole Jõgeval, Türil, Valgas, Viljandis ja Võrus.



## Kokkuvõte

Kuumalainete uurimine on muutunud viimastel aastatel aina aktuaalsemaks. Märkatud on nende esinemise sagenemist mitmel pool Euroopas. Eestis ei ole kuumalaineid varasemalt uuritud, mille tõttu on käesolev bakalaureusetöö keskendunud kuumalainetele Eestis perioodil 1951-2017. Töö eesmärgiks oli välja selgitada, millistes piirkondades ning mis ajal on Eestis esinenud kõige enam kuumalaineid ning kas antud perioodil on märgata nende sagenemist.

Järgnevalt on välja toodud olulisemad tulemused lähtudes uurimisküsimustest:

- Viimaste aastate tõsisemaks kuumalaineks Eestis on 2010. aasta äärmuslikult pikk kuumalaine, mis kestis Jõgeval ja Võrus 28 päeva kuumalaine. Erakordselt soojad temperatuurid kestsid terve juuli.
- 2010. aasta kuumalainega võrreldavaks on ka 2014. aasta oma, mil maksimaalseks kestuseks oli 22 päeva mitmes ilmajaamas.
- Kõige intensiivsemalt on kuumalained avaldunud Lõuna-Eestis, kus temperatuurid on kõrgemad ning kuumalainete kestus on olnud keskmiselt pikem.
- Ranniku ilmajaamades on suved veidi jahedamad ning esineb vähem kuumalaineid. Kõige vähem on kuumalaineid esinenud Sõrves, mis on mõjutatud domineerivast merelt saabuvast jahedast õhust. Ranniku ilmajaamadest on kõige kõrgemate temperatuuride ning arvukamate kuumalainete poolest Kunda ja Virtsu jaamad.
- Kuumalainete arvukus, keskmine kestus ning maksimaalne kestus on perioodil 1951-2017 märgatavalt tõusnud. Kõige enam on suurenenud maksimaalne kestus kõigis ilmajaamades. Kõige enam on maksimaalne kestus tõusnud 6 päeva Viljandis.
- Ka aastane maksimaalne õhutemperatuur on antud perioodil tõusnud. Keskmiselt on temperatuur tõusnud kogu Eestis 2 °C. Kõige enam on maksimaalne õhutemperatuur suurenenud Kihnus (2,6 °C).
- Maksimaalse õhutemperatuuri esinemise kuupäev on liikunud Jõgeval, Türil, Valgas, Viljandis ja Võrus üle 20 päeva sügise poole.

# **Heat waves in Estonia in 1951-2017**

Triin-Merilyn Õispuu

## **Summary**

A noticeable increase in occurrence, duration and severity of the heat waves have been observed and because of that the need of researches has grown (Meehl, Tebaldi, 2004). Heat waves in Europe have been studied for years now. The affect it has on peoples lives, health and overall Earths ecosystem has made it an important subject to reasearch. The longer heat waves last, the more serious are consequences (Rusticucci, Vargas, 2002).

Heat waves in Estonia have not been researched before. Maximum and average temperatures from 1951 to 2017 were analysed in 14 stations. The aim of this study is to observe how the frequency of heat waves in Estonia has changed during the last 67-year period and which areas of Estonia are most affected by them. There is no clear definiton for heat waves in Estonia. In this research heat wave is defined as a period of at least 3 consecutive days in which a daily maximum temperature is 25 °C or more.

Three main research questions were:

1. When have heat waves occured in Estonia?
2. Which areas of Estonia have been most affected by heat waves?
3. Has the frequency of heat waves and higher temperatures in Estonia increased?

I am raising the hypothesis that frequency and severity of heat waves in Estonia has increased like in other parts of Europe.

Data for this study was collected from Estonian Weather Service database. Data was processed with MS Excel and maps were made with Surfer.

The main results of this study are listed below:

- The most severe heat wave in recent years in Estonia were in 2010 when extremely warm temperatures lasted the whole July. In Jõgeva and Võru 2010 heat wave lasted for 28 days which makes it a year with the longest heat wave.
- 2014 warm summer was similar to 2010, when the longest heat wave lasted for 22 days in several stations.
- Heat waves have occurred most intensely in Southern Estonia, where temperatures have been higher and heat waves have lasted for a longer time.
- Summers in coastal stations are a bit cooler and with fewer heat waves. Sõrve station has had the least heat waves which is caused by wind blowing from the sea. Kunda and Virtsu stations have highest temperatures and more heat waves compared to other coastal stations.
- There has been a significant increase in a number of heat waves, heat waves average and maximum duration during 1951-2017. Maximum duration has increased the most in all stations, especially in Viljandi station where it has increased 6 days.
- Also the annual maximum temperature has increased during this period. Maximum temperature has increased about 2 °C all over Estonia. The maximum temperature has increased most in Kihnu station (2,6 °C).
- The date when maximum temperature occurs in Jõgeva, Türi, Valga, Viljandi and Võru has moved over 20 days towards autumn.

## **Tänuavaldused**

Soovin tänada oma juhendajat Jaak Jaagust, kes andis suure panuse selle töö valmimisse ning andis palju asjakohast nõu. Tänan Maarja-Liisi ja Patrikut, kes olid abiks kirjavigade parandamisel ning Mari-Anni, kes aitas inglise keelsete osade kirjutamisel.

## Kasutatud kirjandus

Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*. Vol 111, issue D5.

Armstrong B. (2006). Models for the relationship between ambient temperature and daily mortality. *Epidemiology*. 17:624–31.

Australian Academy of Science kodulehekülg. <https://www.science.org.au/>. Viimati vaadatud 8.04.2018

Barriopedro, D., E. M. Fischer, J. Luterbacher, R. M. Trigo, and R. Garcia-Herrera (2011), The hot summer of 2010: Redrawing the temperature record map of Europe. *Science*. 332(6026), 220–224,

Beniston, M. (2004). The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*. Vol 31, issue 2.

Black, E., Blackburn, M., Harrison, G., Hoskins, B., Methven, J. (2004). Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. *Weather*. Vol 59, No. 8, 217-223

Dole, R., Hoerling, M., Perlwitz, J., Eischeid, J., Pegion, P., Zhang, T., Xu, T., Murray, D. (2011). Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? *Geophysical Research Letters*. Vol 38, issue 6.

Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changon, S. A., Karl, T. R., Mearns, L. O. (2000). Climate Extremes: Observations, Modeling and Impacts. *Science*. 289. 2068-2074.

EC. (2007). The 2006 European Heat Wave. The European Commission.

Euroopa Komisjon. (2009). Kliimamuutuste mõju inimeste, loomade ja taimede tervisele. Valge raamat, KOM(2009) 147. [http://ec.europa.eu/health/ph\\_threats/climate/docs/com\\_2009-147\\_et.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_threats/climate/docs/com_2009-147_et.pdf)

Franzke, C. L. E. (2015). Local trend disparities of European minimum and maximum temperature extremes. *Geophysical Research Letters*. 42: 6479-6484

Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M. G., Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*. Vol. 19: 193-212.

Huth, R., Kysely, J., Pokorna, L. (2000). A GCM simulation of heat waves, dry spells, and their relationship to circulations. *Climate Change*. 46: 29-60.

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Jaagus, J. (2006). Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*. 83: 77-88.

Keskkonnaministeerium. (2017). *Kliimamuutustega kohanemise arengukava aastani 2030*.

Kysely, J. (2004). Mortality and displaced mortality during heat waves in Czech Republic. *International Journal of Biometeorol*. 49: 91-97

Kysely, J. (2010). Recent severe heat waves in central Europe: how to view them in a long-term prospect? *International Journal of Climatology*. 30: 89-109

Lass, W., Haas, A., Hinkel, J., Jaeger, C. (2011). Avoiding the avoidable: towards a European heat waves risk governance. *Int. J. Disaster Risk Sci.* 2 1–4

Lhotka, O., Kyselý, J. & Farda, A. (2018). Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties. *Theor Appl Climatol.* 131: 1043.

Luterbacher, J., Dietrich, D., Xoplaki, E., Grosjean, M. and Wanner, H. (2004). European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science* 303(5663), 1499-1503.

McMichael, A.J., Woodruff R.E. (2005). Climate Change and Human Health. In: Oliver J.E. (eds) *Encyclopedia of World Climatology. Encyclopedia of Earth Sciences Series.* Springer, Dordrecht.

Meehl, G. A., Tebaldi, C. (2004). More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science.* 305, 994-997.

Merisalu, M. (2012). Kuumalained hakkavad sagenema. Tartu Ülikooli ajakiri nr 9.

Paris Agreement. (2015). United Nations.

Peterson, T.C. (2005). Climate Change Indices. *WMO Bulletin.* 54 (2), 83-86.

Peterson, T. C., Manton, M. J. (2008), Monitoring changes in climate extremes: A tale of international collaboration. *Bulletin of the American Meteorological Society.* 89, 1266–1271.

Rekker K. (2013). 2010. aasta erakordselt kuum suvi Eestis ja selle mõju rahvastiku suremusele. Magistritöö. Tartu: TÜ Tervishoiu instituut.

Riigi Ilmateenistuse kodulehekül. <https://www.ilmateenistus.ee>. Viimati vaadatud 14.04.2018

Robine, J.M., Cheung, S. L. K., Roy, S., Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J. P., Herrmann, F. R. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C. R. Biol.* 331, 171

- Robinson, P. J. (2001). On the Definition of a Heat Wave. American Meteorological Society.
- Russo, S., Sillmann, J., Ficher, M. J. (2015). Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. Vol 10, nr 12.
- Rusticucci M, Vargas W. (2002). Cold and warm events over Argentina and their relationship with the ENSO phases: risk evaluation analysis. International Journal of Climatology. 22: 467–483.
- Saava, A., Rekker, K., Indermitte, E. (2015). Äärmusliku kuuma ilma (sh kuumalainete) mõju rahvastiku suremusele. Eesti Arst. 94(5):288–293
- Schubert, S. D., Wang, H., Koster, R. D., Suarez, M. (2014). Northern Eurasian Heat Waves and Droughts. Journal of Climate. 27:3169–3207
- Schär, C., Vidale, P. L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C. Liniger, M. A., Appenzeller, C. (2004). The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature. 427. 332-336.
- Steadman, R. G., (1984). A Universal Scale of Apparent Temperature. Journal of Climate and Applied Meteorology. 23, 1674-1687
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G-K., et al. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press.
- Tammets, T. (2012). Kõrge õhutemperatuur. In: Paljak, T., Merilain, M., Meitern, H., Mätlik, O., Klaus, L., Kovalenko, O., Vahter, I., Pedassaar, E., Tillmann, E., Kallis, A., Keppart, L., Loodla, K., Raudsepp, H. 2012. Eesti ilma riskid. Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut.
- Tarand, A., Jaagus, J., Kallis, A. (2013). Eesti kliima minevikus ja tänapäeval. Tartu: Tartu Ülikooli kirjastus.



WMO (World Meteorological Organisation). (2018). WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017.

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Triin-Merilyn Õispuu

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Kuumalained Eestis aastatel 1951-2017,

mille juhendaja on Jaak Jaagus,

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **28.05.2018**